

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**PRIMARNA PROIZVODNJA U MORU**

**PRIMARY PRODUCTION IN THE SEA**

**SEMINARSKI RAD**

Sanja Škalec

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu  
(Undergraduate Study of Environmental sciences)

Mentor: doc.dr.sc. Petar Kružić

Zagreb, 2010.

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. BRUTO I NETO PRIMARNA PROIZVODNJA.....	3
3. PRIMARNA PROIZVODNJA U MORU.....	5
3.1. Fitoplankton.....	5
3.1.1. Dinamika fitoplanktona.....	6
3.2. Mjerenje primarne proizvodnje.....	8
3.3. Proizvodnja kisika.....	9
4. IMBENICI KOJI UTJE U NA PRIMARNU PROIZVODNJU.....	10
4.1. Svjetlost.....	10
4.2. Fotosintetski pigmenti.....	12
4.3. Potrebe za nutrijentima.....	13
4.4. „Ispaša“ biljojeda.....	14
5. EUTROFIKACIJA.....	15
5.1. Kanalizacija.....	15
5.2. Unos nutrijenata rijekama.....	15
5.3. Uzgajališta (tovilišta).....	16
5.4. Problemi.....	17
6. LITERATURA.....	18
7. SAŽETAK.....	19
8. SUMMARY.....	19

## 1. UVOD

Primarna proizvodnja (izraz koji se može zamijeniti s fotosintezom) je biološki proces kojim biljke proizvode visokoenergetsku organsku tvar iz ugljikovog dioksida, vode i drugih nutrijenata koristeći pri tom Sunčevu energiju.

Organizme koji mogu obavljati takvu pretvorbu nazivamo primarnim proizvođačima. To su autotrofni organizmi (biljke na kopnu, alge u vodi) koji imaju sposobnost vezanja ugljika iz ugljikovog dioksida te proizvodnje jednostavnih organskih tvari (šećera). Organska tvar se dalje koristi za proizvodnju složenijih molekula poput proteina, složenih ugljikohidrata, nukleinskih kiselina i lipida.

Hranjive tvari se u većem dijelu proizvode procesom fotosinteze te u manjem dijelu procesom kemiosinteze. U tim organskim molekulama pohranjena je kemijska energija koju organizmi koriste za rast i razvoj te funkcioniranje svojih tjelesnih sustava. Tako se organska tvar pretvara i prenosi u više trofičke razine ekosustava. Sva živa bića na Zemlji ovisna su o primarnoj proizvodnji, a primarni proizvođači su jedini proizvođači hranjivih tvari na Zemlji.

## 2. BRUTO I NETO PRIMARNA PROIZVODNJA

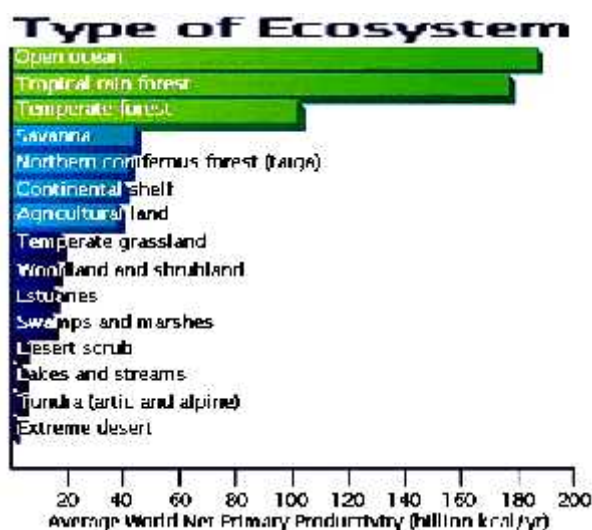
Bruto primarna proizvodnja (BPP) je ukupna količina kemijske energije koju su u nekoj jedinici vremena pohranili svi autotrofni organizmi nekog ekosustava. Budući da autotrofni organizmi moraju obavljati razne metaboličke funkcije (disanje), na te se procese troši velik dio novostvorene energije. Vrijednost dobivena oduzimanjem disanja (R, respiracija) od bruto primarne proizvodnje (BPP) je neto primarna proizvodnja (NPP). Formula:

$$NPP = BPP - R$$

prikazuje vrijednost neto primarne proizvodnje. Prosječna bruto primarna proizvodnja na Zemlji je oko 5,83 milijuna kalorija po četvornom metru u godini dana. To je približno 0,06% solarne konstante.

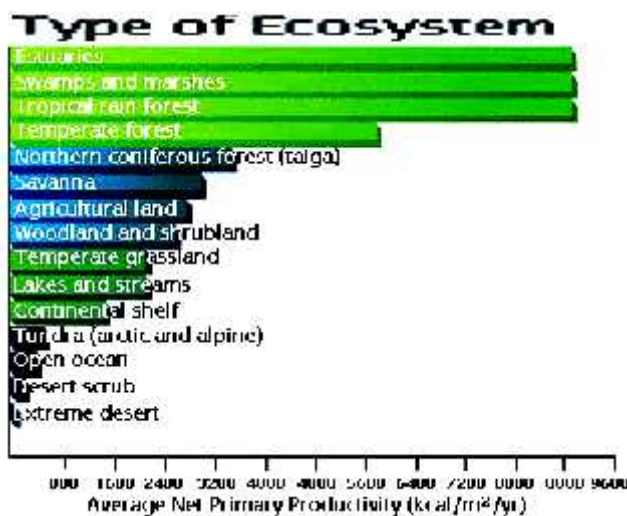
Svjetlost koja dolazi na Zemlju različitih je valnih duljina. Samo polovina spektra se može koristiti u procesu fotosinteze (valne duljine ~ 400 – 700 nm). Taj dio spektra naziva se vidljiva svjetlost (eng. PAR – Photosynthetically Active Radiation).

Razne dijelove svijeta obrasta i različita vegetacija koja utječe na iznos primarne proizvodnje u različitim ekosustavima. Kada promatramo ukupnu veličinu primarne proizvodnje u nekom ekosustavu, najproduktivnija područja su otvoreni oceani, tropske kišne šume i šume umjerenih područja (Slika 1.).



Slika 1. Primarna proizvodnja u ekosustavima

Kada promatramo veliku primarnu proizvodnju po jedinici površine, najproduktivnija područja su estuariji, močvare, tropske kišne šume i kišne šume umjerenih područja (Slika 2.).



**Slika 2.** Primarna proizvodnja po jedinici površine

Najmanje produktivna područja su pustinje i polupustinje. Iako u osnovi slabo produktivni, otvoreni oceani zbog svoje ogromne površine značajno sudjeluju u ukupnoj primarnoj proizvodnji. Razlike na različitim područjima su prvenstveno uvjetovane razlikama u klimi i količini hranjivih tvari na tom području. Najproduktivnija su topla i vlažna područja zbog najpovoljnijih prirodnih uvjeta za rast biljaka.

### 3. PRIMARNA PROIZVODNJA U MORU

Postoje dvije glavne kategorije autotrofnih organizama u moru. Oni se razlikuju, osim po fizičkom izgledu, po prilagodbama na fizičke i kemijske uvjete terena, odnosno bentičkog i pelagičkog dijela morskog okoliša. Bentoski organizmi su alge i manjim dijelom vaskularne biljke pri vršenju za dno. Alge uključuju različite fotoautotrofne organizme: prokariotske bakterije (eubakterija i arheobakterija) i tri eukariotske skupine: zelene, smeđe i crvene alge. Od vaskularnih biljaka znaju se morske cvjetnice i morske trave. Ove biljke čine tek 5 - 10% ukupne biljne proizvodnje u oceanu svake godine. Većinu morske primarne produkcije vrše mikroskopski organizmi koji slobodno plutaju u vodi – fitoplankton.

#### 3.1. Fitoplankton

Fitoplankton obuhvaća jednostanične i kolonijalne, autotrofne i miksotrofne mikroorganizme – alge, koje naseljavaju slobodnu vodu oceana, obalnih mora, kopnenih stajanja i velikih rijeka (Vilić i sur., 2003.) (Slika 3.). Fitoplankton sadrži fotosintetski pigment klorofil *a* i zaslužan je za 95% fotosinteze u oceanima te veže 40% ugljika u biosferi. Tvori temelj trofičke piramide i utječe na sastav organizama na višim trofičkim razinama. Nalazi se do dubine oko 150 metara u osvijetljenoj zoni što čini samo 5% volumena svih oceana. Horizontalna raspodjela fitoplanktona je nejednolika pa se razlikuju više i manje produktivna područja. Raspodjela najviše ovisi o količini hranjivih tvari u oceanu te o drugim ekološkim čimbenicima kao što su svjetlost i temperatura.

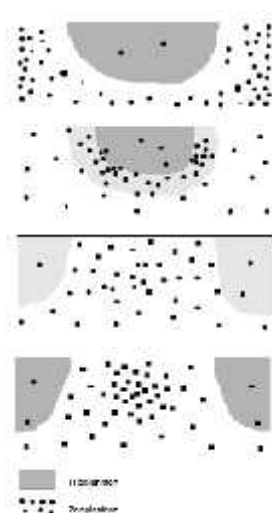


**Slika 3.** Fitoplankton

Fitoplankton ima i vegetativne te spolne i nespodne rasplodne stanice planktonskih i bentoskih alga. Fitoplankton se razvija u moru, jezerima, kopnenim stajalicama (limnoplankton) i u velikim rijekama (potamoplankton). S obzirom na veličinu, dijelimo ga na mikrop plankton (stanice  $> 20 \mu\text{m}$ ), nanoplankton (stanice  $2 - 20 \mu\text{m}$ ) i pikoplankton (stanice  $0,2 - 2 \mu\text{m}$ ) (Vilić i sur., 2003.). Razvoj populacija i prostorna raspodjela fitoplanktona ovisi o fizikalnim (svjetlost, temperatura, morske struje), kemijskim (salinitet, koncentracija hranjivih tvari) i biološkim čimbenicima (interspecijski i intraspecijski odnosi). Morske ekosustave karakteriziraju dinamički procesi kojima se izmjenjuju razvoj planktonskih zajednica i regeneracijski procesi kojima se oslobađaju anorganske soli.

### 3.1.1. Dinamika fitoplanktona

Kada nastupe povoljni ekološki čimbenici u moru dolazi do razvoja oblaka fitoplanktona i povećanja fotosinteze. Oko oblaka fitoplanktona skupljaju se herbivori (heterotrofni protista i zooplankton) koji se hrane fitoplanktonom (Slika 4.). Oni prehranom smanjuju oblak fitoplanktona, a istovremeno oslobađaju produkte metabolizma (amoniak i organske molekule) te time obnavljaju količinu hranjivih tvari. Kad se povećala količina hranjivih tvari i ponovno nastupe povoljni ekološki čimbenici počinje i razvoj fitoplanktona.



**Slika 4.** Dinamika fitoplanktona i zooplanktona

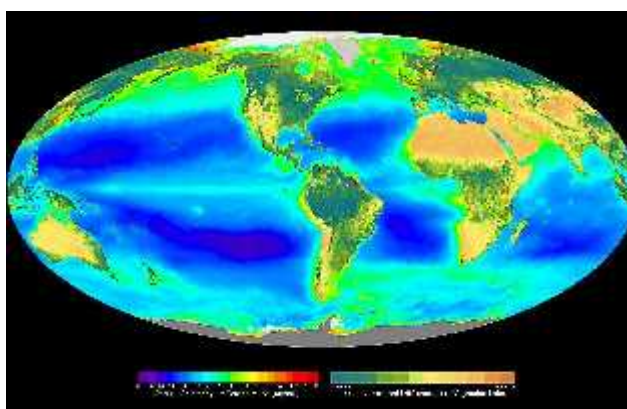
Razvoj gustih populacija fitoplanktona u odnosu na godišnju prosječnu vrijednost na nekom području naziva se cvjetanje fitoplanktona. Imbenici koji utječu na cvjetanje su: dovoljna koncentracija glavnih nutrijenata i mikronutrijenata (dušik, fosfor, ugljik i organska tvar), snižen salinitet, stabilne vremenske prilike i slabo miješanje vodenih masa u vertikalnom i horizontalnom smjeru, dovoljno gusta početna populacija stanica, malo biljojeda i količina svjetlosti.

Prilikom intenzivnog cvjetanja, zbog povećane količine pigmenta, mijenja se boja mora (Slika 5.). Te promjene boje nazivaju se, ovisno o boji, crvena, smeđa, zelena ili žuta plima. Izaziva ju oko 300 vrsta fitoplanktona. Promjena boje mora omogućava satelitsko praćenje fitoplanktonskog cvjetanja što je važno jer su pojedine vrste fitoplanktona toksične te mogu izazvati trovanje morskih organizama, ali i ljudi.



**Slika 5.** Cvjetanje mora

Najveće koncentracije klorofila su u obalnim područjima, područjima uzdizanja dubinske vode prema površini u visokim geografskim širinama (proljeće, ljeto) i blizu ekvatora (zapadni rubovi kontinenta). Male koncentracije su u suptropskim morima (Slika 6.).



**Slika 6.** Globalna oceanska i kopnena primarna proizvodnja



### 3.2. Mjerenje primarne proizvodnje

Općenito, kao mjeru za primarnu proizvodnju uzima se ili porast biomase autotrofnih organizama ili intenzitet fotosinteze. Velicina primarne proizvodnje može se izraziti kao masa ugljika po jedinici površine po jedinici vremena ( $\text{g C/m}^2/\text{godišnje}$ ).

Iznos primarne proizvodnje varira u prostoru i vremenu, a životinje koje iskorištavaju autotrofne organizme moraju se prilagoditi tom uzorku. Teoretski, iznos neto fotosinteze populacije fitoplanktona može se odrediti mjerenjem promjene nekih kemijskih komponenti fotosinteze kao što su vrijednosti proizvodnje kisika ili fitoplanktonske potrošnje ugljikovog dioksida.

U prvoj polovici ovoga stoljeća koristila se metoda svijetlih i tamnih boca za mjerenje primarne proizvodnje morskog fitoplanktona. U ovoj metodi, izmjerene promjene u potrošnji i proizvodnji kisika koriste se za procjenu respiracije fitoplanktona i iznosa fotosinteze. Za potrebe ove metode, s istog mjesta te određene dubine uzimaju se tri boce vode istog volumena. Boce se zatvaraju, kako bi se stvorio zatvoreni sustav i spriječio otapanje plinova iz atmosfere, odnosno kako bi se mogle pratiti promjene u količini kisika. Potom se na istu dubinu vraćaju dvije boce, jedna prozirna (svijetla boca) i druga omotana neprozirnom folijom (tamna boca). Ove dvije boce moraju stajati na istoj dubini određeno vrijeme. U trećoj se pak boci (inicijalna boca) odmah po uvađenju iz vode mjeri količina plinova. Nakon određenog vremena, svijetla i tamna boca vade se iz vode te se i u njima mjeri količina kisika. Količina kisika u inicijalnoj boci označava količinu kisika u vodi i služi kao referentna vrijednost. U svijetloj boci odvijaju se procesi fotosinteze, pri čemu nastaje kisik, no isto tako dio novonastalog kisika se troši za disanje algi. U tamnoj boci zbog nedostatka svjetla ne dolazi do fotosinteze, nego se samo odvijaju procesi disanja. Zbog toga je količina kisika u svijetloj boci u odnosu na inicijalnu veća, dok je količina kisika u tamnoj boci manja od inicijalne. Respiraciju, odnosno količinu kisika potrošenu disanjem možemo izračunati tako da izračunamo razliku u količini kisika u inicijalnoj i tamnoj boci. Neto primarnu proizvodnju određujemo tako da izračunamo razliku u količini kisika u svijetloj i inicijalnoj boci. Razlika u količini kisika u svijetloj i tamnoj boci pak predstavlja količinu bruto primarne produkcije. Ova metoda nije precizna zato što se u uzorcima vode osim autotrofnih nalaze i heterotrofni organizmi, koji dio kisika troše za disanje. Metoda svijetle i tamne boce je povoljna za izračunavanje primarne proizvodnje u vodenim sustavima s velikom proizvodnjom.

U područjima gdje je primarna proizvodnja niska, pouzdanija je metoda radioaktivnog ugljika ( $^{14}\text{C}$ ) u spojevima ugljikovog dioksida. Postupak metode radioaktivnog ugljika  $^{14}\text{C}$  je sličan metodi mjerenja produkcije  $\text{O}_2$ . Koriste se svijetla i tamna boca u koje se unese poznata količina bikarbonata označena s izotopom ugljika  $^{14}\text{C}$ . Nakon perioda inkubacije na određenoj dubini, uzorci se izvlače. Iz svakog uzorka sakuplja se fitoplankton na membrani filtra i zatim suši. Količina radioaktivnog ugljikovog dioksida koju je asimilirao fitoplankton mjeri se pomoću uređaja za mjerenje radioaktivnosti. Pomoću prikladnog konverzijskog faktora procjenjuje se neto primarna proizvodnja. Pogreška pri procjeni primarne proizvodnje iznosi  $\pm 30\%$ .

Za mjerenje primarne proizvodnje koriste se i metoda stabilnih izotopa kisika ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  i  $^{18}\text{O}$ ) i fluorescentna kinetika. Fluorescentna kinetika je novija metoda.

Za razliku od nabrojanih metoda koje se izvode s brodova i daju podatke samo za određene postaje u određeno vrijeme, snimke satelita pružaju globalni pogled na velika prostranstva oceana. Sateliti ne mogu direktno mjeriti primarnu proizvodnju, nego mjere površinsku boju oceana pomoću skenera za boju obalnog područja koji se nalazi na satelitu NIMBUS 7.

### **3.3. Proizvodnja kisika**

Fitoplankton, cijanobakterije i autotrofni simbionti fotosintezom stvaraju u površinskom, osvijetljenom dijelu oceana kisik. Količina kisika izražava se kao koncentracija topljivog kisika u vodi ili kao zasićenje vode kisikom pri određenoj temperaturi. Metode kojima se određuje koncentracija kisika u moru su: titracija po Winkleru i pomoću senzora na sondi za mjerenje kisika (oksimetar).

## **4. IMBENICI KOJI UTJE U NA PRIMARNU PROIZVODNJU**

Kontinuirana sinteza organskog materijala koju proizvodi morski fitoplankton ovisi o skupu biotičkih i abiotičkih imbenika. Ako su nutrijenti, svjetlost, prostor i drugi parametri potrebni za rast neograničeni, veličina populacije fitoplanktona eksponencijalno raste (Sumich, 1992.).

U prirodi populacija fitoplanktona ne nastavlja rasti u nedogled. Veličina populacije fitoplanktona u prirodi kontrolira granica tolerancije na određene okolišne imbenike (uključujući i predatore) ili dostupnost tvari za kojima postoji minimalna potreba. Bilo koje stanje koje prelazi granicu tolerancije ili ne zadovoljava osnovne materijalne potrebe organizma zaustavlja daljnji rast populacije i naziva se ograničavajući imbenik. Populacije fitoplanktona ograničene jednim ili kombinacijom ovih imbenika odstupaju od krivulje eksponencijalnog rasta. Važni ograničavajući imbenici za fitoplankton su: svjetlost, dostupnost nutrijenata i „ispaša“ biljojeda. U oceanu svaka velika skupina fitoplanktona drugačije odgovara na kombinaciju ovih imbenika.

Zanimljivo je da dijatomeje i silikoflagelati uspijevaju na mjestima manjeg intenziteta svjetlosti i u hladnijoj vodi nego dinoflagelati i kokolitoforidi. Prema tome, uvjeti koji potpomažu rast jedne skupine nastoje isključiti druge skupine.

### **4.1. Svjetlost**

Osnovne granice rasprostranjenosti svih morskih fotosintetskih organizama definira potreba za svjetlosti. Ovi se organizmi moraju zadržati u višim područjima oceana (fotičkoj zoni) gdje se do njih doprije sunčeva energija za fotosintezu da bi preživjeli. Dubina fotičke zone je određena kapacitetom svjetlosti koja prodire u morsku vodu. Na dubinu fotičke zone utječu u raznim imbenicima: atmosferska apsorpcija svjetlosti, kut izlaza zraka Sunca i morske površine i prozirnost vode.

Količina energije koja dolazi do morske površine ovisi o atmosferskim imbenicima kao što su prašina, oblaci i plinovi koji apsorbiraju, reflektiraju i raspršuju dio ulazne sunčeve radijacije. U prosjeku dnevno do Zemljine površine dolazi oko 65% ulazne sunčeve radijacije koja dolazi na vanjsku granicu naše atmosfere (Sumich, 1992.). Magnituda ulazne sunčeve radijacije je manja kada je kut Sunca nizak kao što je zimi ili na višim geografskim širinama.

Dio svjetlosti koji prolazi kroz atmosferu reflektira se natrag u svemir na morskoj površini. Ispod morske razine najviše svjetlosne energije je izgubljeno apsorpcijom. Otopljene tvari, suspendirani sedimenti i planktonske populacije nadalje smanjuju količinu svjetlosti dostupnu za fotosintetsku aktivnost i uzrokuju velike razlike u dubini prodiranja svjetlosti izmeđ u obalne i oceanske vode.

Vrsta svjetlosti se mijenja na svom putu od atmosfere prema moru. Od širokog frekvencijskog pojasa elektromagnetske radijacije mi vidimo samo uski dio i to vidljivi dio spektra. Svjetlost koja dopire do morske površine uključuje sve boje vidljivog spektra – od ljubičaste do crvene. Svaku boju karakterizira određeni opseg valnih duljina koji se mjeri u nanometrima (nm). Fotosintetski pigmenti autotrofnih organizama također reagiraju na vidljivu radijaciju i time lakše razumljivim što fotosintetski sustav radi sa svjetlosnom energijom.

Morska voda brzo mijenja karakteristike boje svjetlosti apsorbirajući i različite dijelove vidljivog spektra. Općenito, ljubičaste i narančasto – crvene valne duljine spektra su prve apsorbirane. čak i u najbistrijim tropskim vodama skoro sva crvena svjetlost je apsorbirana u gornjih 10 metara. ista morska voda je najprozirnija za plave i zelene dijelove spektra (450 – 550 nm); 10 % plave svjetlosti prodire do 100 metara te je na kraju apsorbirana ili raspršena (Sumich,1992.).

Veće prodiranje i raspršivanje plave svjetlosti uzrokuje karakterističnu plavu boju bistrih, tropskih morskih voda. Obalne vode su obično više zamutene i više opterećene suspendiranim sedimentima i otopljenim pigmentiranim tvarima koje su donesene s kopna. Postoji pomak relativnog prodiranja svjetlosne energije takav da zelena svjetlost prodire najdublje. U mnogim obalnim područjima, zelena svjetlost se smanjuje na 1% površinskog intenziteta u manje od 30 metara. Svi efekti različite apsorpcije i raspršivanja svjetlosti u morskoj vodi smanjuju intenzitet i širinu spektra svjetlosti koja je dostupna ispod površine mora.

Na nekoj dubini intenzitet svjetlosti je tako slab da se ne može odvijati fotosinteza. Ova dubina definira dno fotičke zone i varira od nekoliko metara dubine u obalnim vodama do preko 200 metara u bistrim tropskim morima. Na dubini nešto iznad dna fotičke zone, iznos fotosinteze je u ravnoteži s fotorespiracijom. Ova dubina bez neto primarne proizvodnje je kritična dubina. Kritična dubina je približno jednaka dubini na kojoj je dostupna svjetlost smanjena na 1% svog površinskog intenziteta. U bistrim tropskim vodama, kritična dubina se često pruža ispod 100 metara kroz godinu. U višim geografskim širinama, može dosegnuti 30 do 50 metara u proljeće, ali skoro nestaje tijekom zimskih mjeseci (Sumich,1992.).

## 4.2. Fotosintetski pigmenti

Fotosintetski aparat svih morskih primarnih proizvođača, osim cijanobakterija, smješten je u kloroplastima stanica koje vrše fotosintezu. U kloroplastima je smješten pigmentni sustav koji sadrži klorofil i razne druge fotosintetske pigmente. Pigmenti apsorbiraju svjetlosnu energiju i pretvaraju je u oblik kemijske energije koji mogu koristiti biljke i drugi organizmi.

Cijanobakterije i eukariotski autotrofni organizmi upotrebljavaju razrađen dvodijelni fotosintetski sustav koji uključuje složen pigmentni sustav i dva različita seta kemijskih reakcija. U prvom setu su reakcije ovisne o svjetlu; molekule klorofila smještene u dva odvojena pigmentna sustava apsorbiraju fotone svjetlosti. Fotoni aktiviraju elektrone i potiskuju ih kroz niz drugih enzima koji upravljaju dijelom energije elektrona i prenose ju do adenin – trifosfata (ATP) i druge visokoenergetske molekule nosača, NADPH<sub>2</sub>. Za pokretanje svjetlosnih reakcija potrebna je svjetlost bez koje reakcije završavaju.

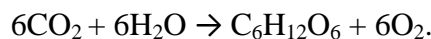
Pigmentni sustavi i enzimi uključeni u svjetlosne reakcije smješteni su unutar polegnutih tobolaca, koji su smješteni na hrpu i tvore brojne grane unutar svakog kloroplasta. Stroma okružuje grane i sadrži enzime potrebne za idući korak fotosinteze, reakcije u tami. Za održavanje reakcija u tami nije potrebna svjetlosna energija, ali su potrebne visokoenergetske molekule ATP i NADPH<sub>2</sub> proizvedene svjetlosnim reakcijama. Energija iz ovih tvari se koristi u reakcijama u tami za sintezu šećera (glukoze) i raznih drugih organskih spojeva potrebnih stanici.

Klorofil se čini zelen zbog istih razloga koji čine obalnu morsku vodu zelenom. U obalslučaj apsorbira se više dostupne svjetlosne energije s ljubičastog i crvenog kraja spektra i ostaje zelena svjetlost koja se reflektira natrag ili prodire dublje u more. Klorofil služi kao osnovni pigment koji apsorbira svjetlost kod kopnenih biljaka. Međutim, nekoliko metara morske vode apsorbira većinu crvenog i ljubičastog dijela vidljivog spektra prije nego dospije do kloroplasta većine morskih biljaka. Budući da klorofil najbolje apsorbira energiju iz crvenog i ljubičastog svjetla, njegova učinkovitost se smanjuje u morskoj vodi.

Evolucijski odgovor većine grupa morskih biljaka je bio usmjeren ka nadopuni potencijala svjetlosne apsorpcije klorofila pomoćnim pigmentima. Klorofil *b* i karotenoidi su pomoćni pigmenti u biljkama. Pomoćni pigmenti apsorbiraju svjetlosnu energiju u širokom opsegu valnih duljina i zatim ju prenose do klorofila kao uvod u svjetlosne reakcije. Pomoćni pigmenti apsorbiraju svjetlost iz spektralnih regija u kojima klorofil ne može.

### 4.3. Potrebe za nutrijentima

Nutrijenti potrebni svim primarnim proizvođačima imaju mnogo složeniji nego što prikazuje osnovna jednažba fotosinteze:



Pravilan rast i održavanje stanice ovisi o dostupnosti više tvari, ne samo vode i  $\text{CO}_2$ , jer su biljke sastavljene od tvari koje se ne mogu dobiti spajanjem C, H i O.

Kemijske analize pokazuju da se hipotetski „prosječni“ morski primarni proizvođač sastoji od anorganskog materijala ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , soli) i organskog materijala (proteina, ugljikohidrata, lipida i dr.).

Morski organizmi nemaju problema s nedostatkom vode. Većina ih je cijelo vrijeme u vodi dok su samo neke vrste u obalnoj zoni na suhom prilikom oseke.

Kokolitoforidi i neke morske trave imaju stanišnu stjenku ili unutarnji skelet od kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ). Ugljikov dioksid potreban za stvaranje karbonata i fotosintezu u vodi postoji kao ugljična kiselina ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), bikarbonatni anion ( $\text{HCO}_3^-$ ) i karbonatni anion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Na zastupljenost ovih iona u morskoj vodi utječe fotosinteza, respiracija, dubina mora i pH ravnoteža. Na svim dubinama u morskoj vodi prisutni su i ioni kalcija ( $\text{Ca}^{+2}$ ) potrebni za stvaranje  $\text{CaCO}_3$ . Silikoflagelatima i dijatomejama je potreban  $\text{SiO}_2$  koji je ponekad iscrpljen u toj mjeri da je rast i razmnožavanje ovih organizama zaustavljeno.

C, H i O su dostupni iz karbonatnih i bikarbonatnih aniona i vode. Dušika je manje, a prisutan je u morskoj vodi u obliku nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrita ( $\text{NO}_2^-$ ) i amonijaka ( $\text{NH}_4^+$ ). Molekularni dušik ( $\text{N}_2$ ) također je otopljen u morskoj vodi, ali ga većina morskih organizama ne može koristiti u tom obliku. Fosfor je većinom prisutan u obliku fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i ima ga manje nego dušika.

Morskim organizmima potrebni su i neki elementi u tragovima kao što su željezo, magnezij, kobalt, cink, bakar i dr.

Vitamini također imaju važnu ulogu u pravilnom rastu i razmnožavanju primarnih proizvođača. Neke vrste dijatomeja zahtijevaju više vitamina  $\text{B}_{12}$  tijekom formiranja auktospora. Neke vrste mogu same sintetizirati vitamine, dok se ostale moraju oslanjati na slobodno živuće bakterije koje ih opskrbljuju vitaminima.

#### **4.4. „Ispaša“ biljojeda**

Trofi ka povezanost morskog fitoplanktona i malih biljojeda (većinom zooplanktona i malih riba) može biti komplicirana. „Ispaša“ može smanjiti količinu živog biljnog materijala i proizvodnju populacija fitoplanktona. Biljojedni zooplankton sposoban je vrlo brzo „desetkovati“ populaciju fitoplanktona.

U idealnom slučaju iznos „ispaše“ bi se trebao podudarati s veličinom primarne proizvodnje kako bi se ostvarila ravnoteža između proizvodnje i populacija potrošača.

## **5. EUTROFIKACIJA**

Eutrofikacija je proces povećanog dotoka nutrijenata (hranjivih tvari) čime se pospješuje rast i razmnožavanje autotrofnih organizama (proizvođača) – fitoplanktona i bentoskih (pridnenih) biljnih organizama. Manje povećanje prihranjivanja mora može koristiti rastu organizama u moru, dok preveliko prihranjivanje može biti pogubno uslijed povećane potrošnje kisika zbog povećanja broja organizama. Kisik se troši za procese disanja organizama te za procese razlaganja organske tvari u raspadanju.

Eutrofikacija može biti izazvana prirodno i utjecajem čovjeka (antropogeno). Antropogeni izvori nutrijenata su poljoprivreda (umjetna gnojiva), komunalne i industrijske otpadne vode (fosfati u deterdžentima) te turistička djelatnost.

Prirodna eutrofikacija se javlja u područjima miješanja voda, rijeka ušća i uzdizanja mora (upwelling).

### **5.1. Kanalizacija**

Mnogi gradovi na jadranskoj obali i otocima riješili su pitanje kanalizacije ispuštanjem u more. Kanalizacija se ispušta na dubini većoj od 30 metara, ispod termokline, kako se ne bi izdigla na površinu i kako bi ostala u hladnijim, gušćim dijelovima koji se nalaze ispod toplijeg sloja mora. Kanalizacijom se povećava unos organske tvari u more, a time i količina dušika i fosfora koji su ograničavajući faktori primarne proizvodnje u morskim ekosustavima. Povećani unos organske tvari, uz optimalne ekološke uvjete dovodi do povećane eutrofikacije. U takvim uvjetima raste biomasa fitoplanktona, ubrzana je fotosinteza i brži je razvoj biljojeda.

### **5.2. Unos nutrijenata rijekama**

U obalnom moru i u blizini ušća rijeka, slatka voda donosi znatne količine nutrijenata (anorganske i organske hranjive tvari). Velik dotok slatke vode smanjuje prozirnost vode pa se i fitoplankton ne razvija na samom ušću. Nakon što dotok slatke vode oslabi ili na većoj



udaljenosti od ušća, gdje ima dovoljno hranjivih soli, ali su i svjetlosni uvjeti povoljniji, nakuplja se primarna pelagička biomasa (Vilić i sur., 2003.). Eutrofikacija izazvana dotokom riječne vode u more uzrokuje „novu“ primarnu proizvodnju.

U sjevernom Jadranu primijećeno je da stupanj eutrofikacije raste od istočne prema zapadnoj obali zbog dotoka slatke vode rijekom Po. Prema istraživanjima, rijeka Po ima 70%-tni doprinos obogaćivanju hranjivim solima. U drugoj polovici 80-tih godina 20.st. u Italiji je donesen zakon o smanjenju sadržaja polifosfata u deterdžentima čime se snizila koncentracija ortofosfata i smanjio njihov donos rijekom Po u Jadran. Unatoč tomu, trofički indeks Jadrana je ostao isti kao i prije donesenog zakona.

### 5.3. Uzgajališta (tovilišta)

U Jadranu prevladava kavezni uzgoj ribe. Pri hranjenju ribe, unosi se organska tvar (većinom fosfor, dušik i ugljik) koja dijelom ostaje neiskorištena (10%), a većim dijelom pojedena (90%). Pretpostavlja se da riba u svoju biomasu ugrađuje 30% dušika i 40% fosfora. Ostatak u obliku izmeta i izlučevina završava u morskom okolišu u blizini kaveza.

Jadran je oligotrofno more, kao i većina Sredozemlja, s niskom razinom nutrijenata, niskom primarnom produkcijom i niskom biomasom fitoplanktona. Ograničavajući imbenik primarne produkcije je fosfor te njegov povećani unos uz slaba strujanja morske vode može dovesti do eutrofikacije.



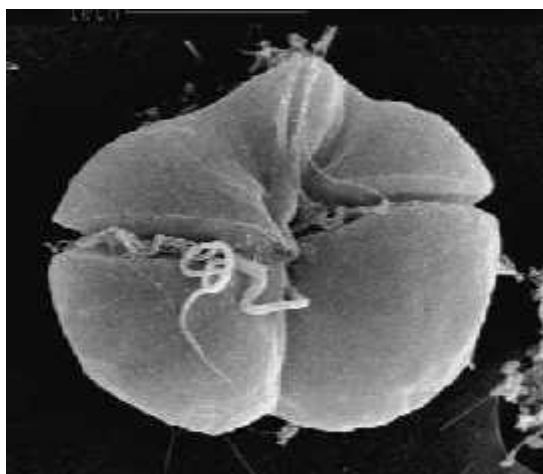
**Slika 7.** Cvjetanje mora uz tovilišta tuna

U uzgajalištima u Republici Hrvatskoj zabilježena je pojava eutrofikacije (Slika 7.). Danas se pokušava poboljšati sastav hrane i strategije hranjenja kako bi iskoristivost hrane bila što veća, a one ispuštanje što manje.

## 5.4. Problemi

„Ekološke katastrofe“ u eutrofnim vodama nastaju u vrijeme kada se znatno narušavaju interspecijski i intraspecijski odnosi u ekosustavu zbog nedostatka kisika ili prisutnosti ekstracelularnih produkata alga koje djeluju antibiogeno.

Velike probleme može izazvati cvjetanje toksinih fitoplanktonskih vrsta. Primjer je cvjetanje vrste *Karenia brevis* u Meksikom zaljevu. Vrsta *Karenia brevis*, planktonski je svjetle i bijele veličine 18 i 45 µm, koja živi u oceanima, morima i estuarijima (Gligora, 2005.) (Slika 8.). U svojim stanicama proizvodi PSP, neurotoksičan spoj koji uzrokuje pomor riba i sisavaca te probleme u dišnom sustavu obalnog stanovništva. Ova vrsta cvjeta periodički, a uzrok cvjetanja je otkriven pomoću satelitskih snimaka oceana.



**Slika 8.** *Karenia brevis*

Uzrok cvjetanja vrste *Karenia brevis* je saharski pijesak koji putuje tisućama milja iz Sahare. Oluje u Sahari akumuliraju oblake pijeska koje atmosferska strujanja prenesu do američke obale. Saharski pijesak u vodama Meksikog zaljeva uzrokuje povećanje koncentracije željeza koje pogoduje razvoju fitoplanktonske modrozeleno alge roda *Trichodesmium*. Alge imaju mogućnost fiksacije atmosferskog dušika te tako obogaćuju vodu dušikovim spojevima. Takvi uvjeti pogoduju razvoju vrste *Karenia brevis*.

## 6. LITERATURA

1. Fitoplankton (2010): [http://www.192.107.66.195/Buoy/System\\_Description\\_Phytoplankton.jpg](http://www.192.107.66.195/Buoy/System_Description_Phytoplankton.jpg)
2. Gligora, M. (2005.): Daljinska istraživanja fitoplanktona, Priroda
3. Globalna primarna proizvodnja (2010): [www.en.wikivisual.com/images/4/44/Seawifs\\_global\\_biosphere.jpg](http://www.en.wikivisual.com/images/4/44/Seawifs_global_biosphere.jpg)
4. *Karenia brevis* (2010): [http://research.myfwc.com/images/gallery/gbreve\\_2404.jpg](http://research.myfwc.com/images/gallery/gbreve_2404.jpg)
5. Primarna proizvodnja (2010): [www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/energyflow/typeecob2.gif](http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/kling/energyflow/typeecob2.gif)
6. Sumich, J.L., (1992.): An Introduction to the Biology of Marine Life, Fifth Edition, WCB
7. Vilić, D., (2003.): Fitoplankton u ekološkom sustavu mora, Školska knjiga, Zagreb

## **7. SAŽETAK**

Primarna proizvodnja je proizvodnja organske tvari iz ugljikovog dioksida u atmosferi ili u vodi procesom fotosinteze i kemosinteze, u manjoj mjeri. Sva živa bića na Zemlji ovise o primarnoj proizvodnji. Organizmi koji obavljaju primarnu proizvodnju su primarni proizvođači ili autotofni organizmi i čine bazu hranidbenog lanca. U kopnenim ekosustavima to su većinom biljke dok su u morskim ekosustavima primarni proizvođači većinom alge. Razlikuju se bruto i neto primarna proizvodnja, prva uključuje gubitak energije respiracijom dok druga ne uključuje respiraciju.

## **8. SUMMARY**

Primary production is the production of organic compounds from atmospheric or aquatic carbon dioxide, principally through the process of photosynthesis, with chemosynthesis being much less important. All life on earth is directly or indirectly reliant on primary production. The organisms responsible for primary production are known as primary producers or autotrophs, and form the base of the food chain. In terrestrial ecoregions, these are mainly plants, while in aquatic ecoregions algae are primarily responsible. Primary production is distinguished as either net or gross, the former accounting for losses to processes such as cellular respiration, the latter not.